

**UJI KINERJA TEKNIS MESIN PENCACAH TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) TIPE *ROTARY CHOPPER***

(Skripsi)

Oleh

Alfian Rivalga



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2021**

ABSTRACT

TECHNICAL PERFORMANCE TEST OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCES (EFB) CHOPPER MACHINE TYPE ROTARY CHOPPER

By

ALFIAN RIVALGA

Oil palm plantations in Indonesia each year contribute to producing palm oil and make Indonesia the first position as the largest palm oil producer in the world, followed by the area of oil palm plantations which increases every year. Palm oil is the main staple in various parts of the world, especially for household purposes. One of the solid wastes produced from the processing of Fresh Fruit Bunches (FFB) is Oil Palm Empty Fruit Bunches (EFB). EFB is a by-product of palm oil processing whose use is still limited as fertilizer and media for fungal and plant growth.

The problems faced by palm oil mills are the disposal and burning of EFB. Uncontrolled disposal of EFB in oil palm plantations results in a huge pile of EFB. The main obstacle in the use of EFB is the fibrous characteristic of EFB, making it difficult for further utilization. To overcome this problem, a EFB enumerator was used to enumerate EFB in order to facilitate the utilization of EFB. The EFB chopper machine is equipped with 24 chopping blades and can cut EFB easily and efficiently.

This study was designed with a factorial completely randomized design consisting of 2 factors, namely the machine rotational speed factor (RPM) which consisted of 900 RPM rotational speed treatment, 1100 RPM, and 1300 RPM and a water dose factor consisting of treatments without adding water and adding water. In the treatment without the addition of water from the total machine rotational speed (RPM) treatment, the total working capacity was 80.91 kg/hour and the weight loss was less, namely 38,65%/hour compared to the addition of water, which showed a higher working capacity less, namely as much as 61,68 kg/hour and more weight loss as much as 58,86%/hour. treatment without adding water the amount of distribution of fine products is less, namely as much as 153,50%/hour and distribution of coarse results is more, namely as much as 146,50 compared to the addition of water, the distribution of fine results was more, namely 180,02 %/hour and the distribution of coarse yields was less, as much as

119,98%/hour. The length of the counting process affects the amount of weight loss.

Keywords : *Chopper, Engine Performance, RPM, EFB, Water Content*

ABSTRAK

UJI KINERJA TEKNIS MESIN PENCACAH TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) TIPE *ROTARY CHOPPER*

Oleh

ALFIAN RIVALGA

Perkebunan kelapa sawit di Indonesia setiap tahunnya berkontribusi menghasilkan minyak kelapa sawit dan menjadikan Indonesia menduduki posisi pertama produsen sawit terbesar di dunia diikuti dengan luas lahan perkebunan kelapa sawit yang tiap tahunnya naik. Minyak kelapa sawit merupakan bahan pokok utama di berbagai belahan dunia, terutama untuk keperluan rumah tangga. Salah satu limbah padat yang dihasilkan dari pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). TKKS merupakan hasil samping dari pengolahan minyak kelapa sawit yang pemanfaatannya masih terbatas sebagai pupuk dan media bagi pertumbuhan jamur serta tanaman.

Permasalahan yang dihadapi pabrik kelapa sawit adalah pembuangan dan pembakaran TKKS. Pembuangan TKKS yang tidak terkendali di lahan perkebunan kelapa sawit mengakibatkan tumpukan TKKS dalam jumlah yang sangat besar. Kendala utama dalam pemanfaatan TKKS adalah karakteristik TKKS yang berserat sehingga mempersulit dalam pemanfaatan lebih lanjut. Untuk mengatasi masalah tersebut digunakan alat mesin pencacah TKKS untuk mencacah TKKS supaya mempermudah pemanfaatan TKKS. Mesin pencacah TKKS dilengkapi dengan 24 mata pisau pencacah dan dapat memotong TKKS dengan mudah dan efisien.

Penelitian ini dirancang dengan rancangan acak lengkap faktorial yang terdiri dari 2 faktor, yaitu faktor kecepatan putar mesin (RPM) yang terdiri dari perlakuan kecepatan putar 900 RPM, 1100 RPM, dan 1300 RPM dan faktor dosis air yang terdiri dari perlakuan tanpa penambahan air dan penambah air. Pada perlakuan tanpa penambahan air dari total perlakuan kecepatan putar mesin (RPM) menunjukkan jumlah kapasitas kerja lebih banyak yaitu sebanyak 80,91 kg/jam dan susut bobot lebih sedikit yaitu sebanyak 38,65 %/jam dibandingkan dengan perlakuan penambahan air menunjukkan kapasitas kerja lebih sedikit yaitu sebanyak 61,68 kg/jam dan susut bobot lebih banyak yaitu sebanyak 58,86 %/jam. Perlakuan tanpa penambahan air jumlah distribusi hasil halus lebih sedikit yaitu

sebanyak 153,50 %/jam dan distribusi hasil kasar lebih banyak yaitu sebanyak 146,50 dibandingkan dengan perlakuan penambahan air jumlah distribusi hasil halus lebih banyak yaitu sebanyak 180,02 %/jam dan distribusi hasil kasar lebih sedikit yaitu sebanyak 119,98 %/jam. Lamanya proses pencacahan mempengaruhi jumlah susut bobot.

Kata Kunci : Mesin Pencacah, Kinerja Mesin, RPM, TKKS, Kadar Air

**UJI KINERJA TEKNIS MESIN PENCACAH TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) TIPE *ROTARY CHOPPER***

Oleh

Alfian Rivalga

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar SARJANA TEKNIK

Pada

**Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung**



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDARLAMPUNG
2021**

Judul Skripsi : **UJI KINERJA TEKNIS MESIN PENCACAH TANDAN
KOSONG KELAPA SAWIT (TKKS) TIPE
ROTARY CHOPPER**

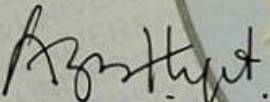
Nama Mahasiswa : **Alfian Rivalga**


Nomor Pokok Mahasiswa : **1714071053**

Jurusan : **Teknik Pertanian**

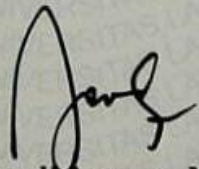
Fakultas : **Pertanian**




Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002


Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.
NIP 19900226 201903 1 012

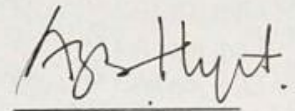
2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian


Dr. Ir. Sandi Asmara, M.Si.
NIP 19621010 198902 1 002


MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

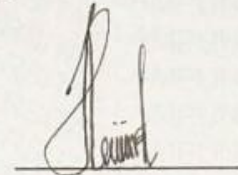
Ketua : Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.



Sekretaris : Febryan Kusuma Wisnu, S.T.P., M.Sc.



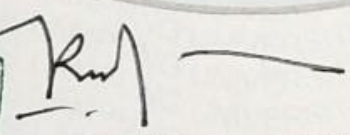
Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Mareli Telaumbanua, S.T.P., M.Sc.



2. Dekan Fakultas Pertanian



Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si
NIP. 19611020 198603 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 03 Desember 2021

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah Alfian Rivalga NPM 1714071053

Dengan ini menyatakan bahwa apa yang tertulis dalam karya ilmiah ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh Komisi Pembimbing, 1) Dr. Ir. Agus Haryanto, M. P dan 2) Febryan Kusuma Wisnu., S. T. P., M. Sc. berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang telah saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang dibuat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber lain (buku, jurnal, dll) yang telah dipublikasikan sebelumnya atau dengan kata lain bukanlah hasil dari plagiat karya orang lain.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 13 Desember 21
Yang membuat pernyataan



Alfian Rivalga
NPM. 1714071053

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Riau Periang, Pubian, Lampung Tengah, 08 Maret 1999 sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Paripurno dan Hamidah. Penulis menempuh pendidikan TK, di TK Aysiah 2 Pubian pada tahun 2005, Sekolah Dasar Muhammadiyah Pubian pada tahun 2006-2011, Madrasah Tsanawiyah Pubian tahun 2011-2014, dan Sekolah Menengah Kejuruan 2 Mei

Bandarlampung tahun 2014-2017. Pada tahun 2017 Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik, Pertanian Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN).

Pada bulan Juli hingga Agustus 2020 Penulis telah melaksanakan Praktik Umum (PU) di PT. Superindo Utama Jaya yang berlokasi di 29 Banjarsari Metro Utara, Lampung dengan judul “Mempelajari Alat dan Mesin Pembuatan Pakan Konsentrat Sapi di PT. Superindo Utama Jaya”. Sementara itu pada bulan Februari hingga Maret 2021 Penulis telah melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) Periode 1 tahun 2021 dengan tema “KKN Kampus Merdeka – Merdeka Belajar, KKN Bilateral dan KKN Bersama se-Provinsi Lampung” di RT.06 RW.02 Kebun Bibit, Kelurahan Hajimena, Natar, Bandar Lampung,

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif dalam organisasi, pada tahun 2017 menjadi anggota biasa Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP), pada tahun 2017 hingga tahun 2020 penulis menjadi anggota Persaudaraan Setia Hati Terate (PSHT) dan pada tahun 2019 penulis menjadi staf ahli bidang Administrasi dan Kesejahteraan Mahasiswa (ADKESMA) di Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) Universitas Lampung.

Persembahan

Segala puji dan Syukur atas kehadiran Allah SWT.

Tanpa izin-Nya, saya tidak mungkin bisa menyelesaikan karya sederhana ini.

Karya sederhana ini ku tujukan kepada:

Kedua Orang Tua

Bapak Paripurno dan Ibu Hamidah tercinta,
Keduanyalah yang membuat segalanya menjadi mungkin sehingga saya bisa sampai pada tahap di mana skripsi ini akhirnya selesai. Terima kasih atas segala pengorbanan, nasihat dan doa baik yang tidak pernah berhenti kalian berikan kepadaku. Aku selamanya bersyukur dengan keberadaan kalian sebagai orangtua ku.”

Serta

Almamater Tercinta Universitas Lampung

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan”

(QS. Al-Insyirah ayat 6)

SANWACANA

Puji syukur senantiasa penulis haturkan kehadiran Allah SWT, karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat beriring salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, yang senantiasa kita harapkan Syafaat di hari akhir kelak.

Skripsi dengan judul “Uji Kinerja Mesin Pencacah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari banyak pihak, hingga terselesaikannya skripsi ini, maka dari itu, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M. Si., selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung atas izin yang telah diberikan sehingga dapat melaksanakan Praktik Umum.
2. Dr. Ir. Sandi Asmara, M. Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung.
3. Dr. Ir. Agus Haryanto, M. P., selaku Ketua Komisi Pembimbing (Pembimbing Utama) sekaligus Dosen Pembimbing Akademik atas kesediaannya memberikan nasihat, kritik dan saran selama penelitian hingga penyusunan skripsi.
4. Febryan Kusuma Wisnu, S. T. P., M. Sc., selaku Pembimbing kedua yang telah meluangkan waktunya dalam memberikan masukan, bimbingan dan saran serta solusi selama perkuliahan dan melaksanakan penelitian hingga penyusunan skripsi ini.

5. Dr. Mareli Telaumbanua, S. T. P., M. Sc., selaku penguji atas kesediaannya untuk memberikan nasehat kritik dan saran dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Bapak Untung, selaku mekanik Laboratorium Daya Alat Mesin Pertanian (LDAMP) yang telah membantu melakukan proses penelitian.
7. Bapak Paripurno dan Ibu Hamidah, selaku orang tua yang telah mencurahkan segala doa, kasih dan sayang pada penulis selama hidupnya.
8. Seluruh dosen dan staf Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung yang telah memberikan limpahan ilmu pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di Jurusan Teknik pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.
9. Teman penataku, Patrisca Aprilia Putri terimakasih telah memotivasi, memberi dukungan dan membuat perubahan yang lebih baik.
10. Keluarga Besar Teknik Pertanian Angkatan 2017 yang senantiasa memberi dukungan dalam penyusunan skripsi ini.
11. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis dalam melaksanakan penelitian hingga penulisan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam skripsi ini, semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Bandarlampung, 2021

Penulis

Alfian Rivalga

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Hipotesis.....	3
1.6. Batasan Masalah.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Kelapa Sawit.....	4
2.2. Limbah Kelapa Sawit	5
2.3. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	7
2.3.1. Karakteristik TKKS	8
2.3.2. Pemanfaatan TKKS	9
2.4. Kecepatan Putaran RPM (<i>Rotation Per Minute</i>).....	10
2.5. Kadar Air Bahan.....	10
2.6. Jenis-jenis Mesin Pencacah	11
2.6.1. Mesin Pencacah Rumput.....	11
2.6.2. Mesin Pencacah Plastik.....	12
2.6.3. Mesin Pencacah Pelepah Kelapa Sawit	13
2.6.4. Mesin Pencacah Sampah.....	14
2.6.5. Mesin Pencacah Jerami.....	14
2.7. Mesin Pencacah TKKS	15
2.7.1. <i>Hopper</i>	18
2.7.2. Tabung Pencacah	19
2.7.3. Pisau.....	19
2.7.4. <i>Pulley</i> dan <i>V-belt</i>	20
2.7.5. Tangki Bahan Bakar	21
2.7.6. Motor Bakar	21
2.7.7. <i>Exhaust</i>	22
2.8. Pencacahan	22
2.8.1. Faktor Yang Mempengaruhi Pencacahan	23
	iii

2.9. Pisau Pencacah	23
2.10. Unjuk Kerja	24
III. METODE PENELITIAN	25
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	25
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	25
3.2.1. Alat.....	25
3.2.2. Bahan	26
3.3. Rancangan Percobaan.....	26
3.4. Metode Penelitian.....	27
3.5. Prosedur Penelitian.....	28
3.6. Persiapan Pencacahan.....	29
3.6.1. Waktu Kerja.....	29
3.6.2. Bahan Yang Digunakan	29
3.6.3. Kecepatan Putar Mesin (RPM) dan Pengayak.....	30
3.7. Parameter Pengamatan	31
3.7.1. Kapasitas Kerja	31
3.7.2. Susut bobot.....	31
3.7.3. Distribusi Kehalusan.....	31
3.7.4. Kadar Air	32
3.7.5. Konsumsi Bahan Bakar.....	32
3.7. Analisis Data	33
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	34
4.1. Kapasitas Kerja	34
4.2. Sususut bobot	37
4.3. Distribusi Cacahan	41
4.4. Kadar Air.....	46
4.5. Konsumsi Bahan Bakar.....	47
4.6. Ketajaman Pisau.....	49
4.7. Analisa Kinerja Mesin	50
IV. KESIMPULAN DAN SARAN.....	34
5.1. Kesimpulan.....	34
5.2. Saran.....	35
DAFTAR PUSTAKA	36

DAFTAR TABEL

Tabel	<i>Teks</i>	Halaman
1.	Spesifikasi mesin pencacah TKKS	16
2.	Kombinasi perlakuan RAL faktorial	26
3.	Tabulasi data penelitian.....	27
4.	Kecepatan putar (RPM) pada poros pisau dan pada pengayak.....	30

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Kebun kelapa sawit	4
2.	Limbah cair kelapa sawit	6
3.	Tandan buah kelapa sawit	6
4.	Cangkang kelapa sawit.....	7
5.	Sketsa penampang TKKS	8
6.	Mesin pencacah rumput	12
7.	Mesin Pencacah Plastik.....	13
8.	Mesin pencacah pelepah kelapa sawit.....	13
9.	Mesin Pencacah Sampah Organik.....	14
10.	Mesin Pencacah Jerami	15
11.	Mesin Pencacah TKKS	17
12.	Mesin Pencacah TKKS (a) tampak depan dan (b) tampak belakang.....	18
13.	Mesin pencacah TKKS tampak samping	18
14.	<i>Hopper</i>	19
15.	Tabung pencacah.....	19
16.	Pisau pencacah	20
17.	<i>Pulley</i> dan <i>v-belt</i>	21
18.	Tangki bahan bakar	21
19.	<i>Exhaust</i>	22
20.	Diagram alir penelitian.....	28

21. (a) TKKS utuh dan (b) TKKS yang diperkecil (disuwir) 30

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia memiliki lahan yang subur serta sawah dan perkebunan yang terhampar luas. Perkebunan kelapa sawit setiap tahunnya berkontribusi menghasilkan minyak kelapa sawit dan Indonesia menjadi negara dengan peringkat pertama penghasil minyak kelapa sawit terbanyak di dunia yang diikuti dengan luas lahan perkebunan kelapa sawit yang tiap tahunnya naik. Minyak kelapa sawit merupakan bahan pokok utama di berbagai belahan dunia, terutama untuk keperluan rumah tangga. Selain itu bahan utama dari minyak goreng ini dapat pula digunakan untuk keperluan lainnya seperti *biofuel*, industri kosmetik dan farmasi. Disisi lain, tanaman kelapa sawit tidak dapat tumbuh diberbagai tempat, dimana hanya dapat dibudidayakan di daerah beriklim tropis seperti di Indonesia.

Pabrik minyak kelapa sawit menghasilkan limbah cair, gas, dan padat. Salah satu limbah padat yang dihasilkan dari pengolahan Tandan Buah Segar (TBS) yaitu Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS). TKKS merupakan hasil samping dari pengolahan minyak kelapa sawit yang pemanfaatannya masih terbatas sebagai pupuk dan media bagi pertumbuhan jamur serta tanaman. Limbah kelapa sawit jumlahnya sangat melimpah, setiap pengolahan 1 ton TBS akan dihasilkan TKKS sebanyak 23% TKKS atau sebanyak 230 kg TKKS (Kamal, 2012).

Limbah padat yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan kelapa sawit seperti TKKS, cangkang, serat (serabut), dan lain-lain yang pada umumnya lebih mudah untuk dikendalikan bahkan dapat dimanfaatkan. TKKS adalah salah satu produk sampingan berupa padatan dari industri pengolahan kelapa sawit. Secara fisik TKKS terdiri dari berbagai macam serat dengan komposisi antara lain *selulosa*

sekitar 45.95%; *hemiselulosa* sekitar 16.49% dan *lignin* sekitar 22.84% (Susilawati, 2012).

Permasalahan yang dihadapi pabrik kelapa sawit adalah pembuangan dan pembakaran TKKS. Pembuangan TKKS yang tidak terkendali di lahan perkebunan kelapa sawit mengakibatkan tumpukan TKKS dalam jumlah yang sangat besar. Di Indonesia, TKKS umumnya dimanfaatkan sebagai pupuk dan media tanam jamur. TKKS dapat dimanfaatkan lebih lanjut dan memiliki nilai ekonomi yang lebih seperti dijadikan pelet, *briket*, *pulp* kertas, dan lain sebagainya.

Kendala utama dalam pemanfaatan TKKS adalah karakteristik TKKS yang berserat sehingga mempersulit dalam pemanfaatan lebih lanjut (Susilawati, 2012). Untuk mengatasi masalah tersebut, Jurusan Teknik Pertanian Universitas Lampung telah merancang dan membuat alat mesin pencacah TKKS yang digunakan untuk mencacah TKKS menjadi lebih kecil supaya mempermudah pemanfaatan TKKS. Sistem kerja mesin pencacah TKKS adalah pisau pencacah memotong bahan dengan berputar searah jarum jam secara vertikal kearah bahan yang akan dimasukkan dengan tujuan supaya bahan langsung tercacah dan tidak terpental keluar. Pada proses pencacahan TKKS dapat menyebabkan banyaknya debu yang berterbangan maka dari itu penelitian ini menggunakan penambahan kadar air yang bertujuan salah satunya untuk mengurangi debu yang dihasilkan.

Permasalahan dari mesin pencacah TKKS yaitu kurangnya informasi tentang unjuk kinerja mesin. Kinerja mesin dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti model atau rancang bangun mesin, kecepatan putar mesin (RPM), daya motor bakar, bahan bakar mesin, kadar air bahan, *input* bahan, serta bahan yang akan digunakan (Hamarung & Jasman, 2019). Oleh karena itu, dilakukan penelitian uji kinerja untuk mengetahui unjuk kerja dari mesin pencacah TKKS pada variasi kecepatan putar mesin (RPM) serta perlakuan penambahan air terhadap TKKS sehingga didapat mesin bekerja secara optimal dan dapat dimanfaatkan lebih lanjut.

1.2. Rumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kecepatan putar mesin (RPM) dan kadar air bahan terhadap kinerja mesin pencacah TKKS.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui kinerja mesin pencacah TKKS berdasarkan RPM (*Rotation Per Minute*).
- b. Mengetahui pengaruh tanpa tambahan dan penambahan air pada TKKS terhadap kinerja dari mesin pencacah TKKS.

1.4. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari dilakukannya penelitian yaitu untuk memberikan informasi tentang karakteristik unjuk kinerja dari mesin pencacah TKKS sehingga dapat bekerja lebih optimal dan dapat dimanfaatkan lebih lanjut.

1.5. Hipotesis

Adapun hipotesis dari penelitian ini adalah :

- a. Kinerja mesin pencacah dipengaruhi oleh kecepatan (RPM) mesin.
- b. Penambahan air pada TKKS berpengaruh pada kinerja mesin pencacah.

1.6. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah :

- a. Bahan yang digunakan bukan TKKS yang utuh tetapi TKKS yang telah diperkecil ukurannya (disuwir).
- b. Pengujian unjuk kerja mesin pencacah TKKS tidak menggunakan analisis biaya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis jacq.*) merupakan komoditas perkebunan yang memegang peranan penting bagi perekonomian Indonesia sebagai salah satu penyumbang devisa non-migas yang cukup besar. Kelapa sawit menghasilkan produk olahan yang mempunyai banyak manfaat (Direktorat Jendral Perkebunan, 2019). Produk minyak kelapa sawit tersebut digunakan untuk industri penghasil minyak goreng, minyak industri, bahan bakar, industri kosmetik, dan farmasi.



Gambar 1. Kebun kelapa sawit

Sejak awal pertumbuhan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 1970-an perkebunan kelapa sawit masih didominasi oleh perkebunan besar baik swasta maupun negara. Dilihat dari pertumbuhan rata-rata perkebunan kelapa sawit sebesar 10,99% pada periode 1998-2016. Pada Tahun 1980 luas areal perkebunan kelapa sawit Indonesia sebesar 294,56 ribu hektar maka pada Tahun 2015 telah mencapai 11,30 juta hektar. Pertumbuhan produksi mengikuti luas areal kelapa

sawit sebesar 11,50% (Kementerian Pertanian, 2017).

Luas perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2010 yaitu 8.430.027 ha dan terjadi peningkatan yang cukup besar pada tahun 2017 menjadi 14.048.722 ha, hingga pada tahun 2019 luas perkebunan kelapa sawit yaitu 14.724.420 ha. Luas perkebunan kelapa sawit yang besar akan diiringi dengan volume ekspor yang tinggi pula, hal tersebut dikarenakan permintaan dunia akan minyak sawit terus meningkat sehingga pasaran ekspornya selalu terbuka lebar dan dapat menghasilkan keuntungan yang besar (Direktorat Jendral Perkebunan, 2019).

2.2. Limbah Kelapa Sawit

Pemanfaatan limbah menjadi bahan-bahan yang menguntungkan atau mempunyai nilai ekonomi tinggi dilakukan untuk mengurangi dampak negatif bagi lingkungan dan mewujudkan industri yang berwawasan lingkungan. Limbah industri pertanian khususnya industri kelapa sawit mempunyai ciri khas berupa kandungan bahan organik yang tinggi. Kandungan bahan organik tersebut dapat dimanfaatkan untuk pertumbuhan kelapa sawit. Limbah cair (*POME*) merupakan produk samping dari pengolahan pabrik yang berasal dari proses perebusan (*sterilizer*), pemurnian (*clarifier*), air cucian pabrik, dan air buangan dari proses pemisahan cangkang dan inti sawit (*hydrocyclon*). Limbah yang dihasilkan tersebut dapat dimanfaatkan untuk pupuk organik tetapi harus diolah terlebih dahulu, seperti kandungan *Biological Oxygen Demand* (BOD), *Chemical Oxygen Demand* (COD), *Suspended Solid* (SS), *Total Solid* (TS), dan kemasaman (pH) sehingga dapat diaplikasikan ke lahan (Susilawati, 2012).



Gambar 2. Limbah cair kelapa sawit

Limah padat yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan kelapa sawit seperti TKKS, pelepah, cangkang, serat (serabut), dan lain-lain yang pada umumnya lebih mudah untuk dikendalikan bahkan dapat dimanfaatkan (Susilawati, 2012).



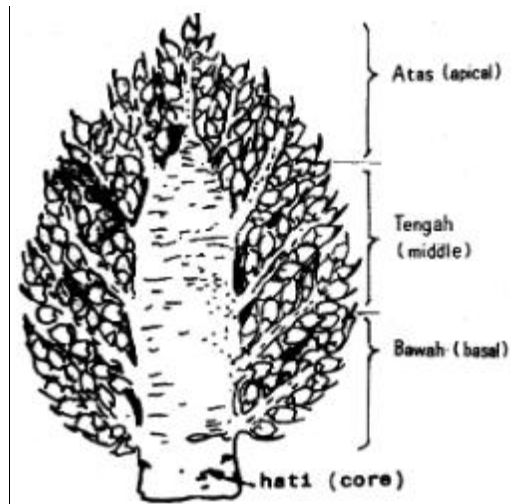
Gambar 3. Tandan buah kelapa sawit



Gambar 4. Cangkang kelapa sawit

2.3. Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditi hasil pertanian yang diperdagangkan, baik untuk industri dalam negeri maupun ekspor. Indonesia merupakan salah satu negara produsen kelapa sawit terbesar di dunia. Produk utama pohon kelapa sawit yang dimanfaatkan adalah tandan buahnya yang menghasilkan minyak dari daging buah dan *kernel* (inti sawit). Setelah dilakukan proses pengolahan kelapa sawit tersebut, pada akhirnya menyisakan beberapa limbah diantaranya adalah limbah TKKS yang merupakan limbah terbanyak yang dihasilkan dari pengolahan TBS yaitu berkisar 20% hingga 23% dari jumlah panen TBS yang dipasok ke pengolah (Kamal, 2012).



Gambar 5. Sketsa penampang TKKS

Pada Gambar 5 sketsa penampang TKKS, bagian tengah tandan terdapat buah-buah yang besarnya merata, berukuran lebih besar daripada bagian atas atau bawah. Sedangkan bagian bawah tandan terdapat buah-buah yang lebih kecil daripada bagian atas atau tengah, terutama pada bagian pangkalnya karena pertumbuhannya terdesak oleh pangkal batang daun atau ketiak pelepah daun pada tempat kedudukan tandan tersebut. Sebaris buah terlekat oleh setiap kelopaknya yang disebut karpel pada ranting, dan sejumlah baris ranting berpangkal pada hati (*core*) berupa tangkai tandan. Pada setiap ranting juga berlaku istilah apikal (bagian atas ranting), bagian tengah (*middle*) serta basal (bagian bawah) ranting (Thoriq, 2013).

2.3.1. Karakteristik TKKS

TKKS pada umumnya memiliki nilai kalor yang rendah dengan kadar air yang cukup tinggi yaitu 60% - 65% dan mengandung potasium (K) yang mencapai 2,4%, selain itu juga diketahui mengandung klorin (Cl). Efek korosi akan meningkat dengan meningkatnya kandungan klorin (Cl), dan unsur potasium (Wijono, 2014). TKKS adalah salah satu produk sampingan berupa padatan dari industri pengolahan kelapa sawit. Secara fisik TKKS terdiri dari berbagai macam serat dengan komposisi antara lain *selulosa* sekitar 45.95%, *hemiselulosa* sekitar 16.49%, dan *lignin* sekitar 22.84% (Susilawati, 2012). Karakteristik TKKS dapat mempengaruhi proses pencacahan TKKS memiliki kadar air yang tinggi dan sifat

yang keras dengan kandungan *selulosa*, *lignin* dan *hemiselulosa* yang tinggi. Bahan organik yang banyak mengandung *selulosa*, *lignin* dan *hemiselulosa* apabila dikomposkan akan membutuhkan waktu yang lama. C/N ratio TKKS yang 32,86 sedikit di atas C/N *ratio* optimal bahan untuk dikomposkan yaitu 30 (Syahwan & Firman, 2010).

2.3.2. Pemanfaatan TKKS

TKKS selama ini hanya dibiarkan menumpuk di lahan dan dimanfaatkan sebagai pupuk organik, akan tetapi kandungan yang ada dalam TKKS menyebabkan sulitnya untuk terurai dengan sendirinya. Selain dimanfaatkan sebagai pupuk organik, TKKS juga dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai media untuk menanam jamur. Salah satu masalah dalam pemanfaatan TKKS adalah lamanya waktu yang dibutuhkan untuk dapat menyerap manfaatnya secara langsung. Proses pengomposan TKKS dapat dipercepat dengan pengecilan ukuran. TKKS dicacah terlebih dahulu sebelum dikomposkan bertujuan untuk mempercepat proses pengomposan, karena ukuran TKKS yang halus dan kecil dapat mempercepat pemasakan saat pengomposan. Pengomposan dilakukan dengan mempertahankan suhu, temperatur, dan kelembaban (Nasrul, 2009).

Produk kompos yang dihasilkan memiliki karakteristik yang sangat khas yang sangat dipengaruhi oleh karakteristik TKKS sebagai bahan baku utama. Kompos yang dihasilkan berbentuk serat-serat halus yang berbeda dengan kompos pada umumnya yang relatif berbentuk seperti tepung. Bentuk kompos TKKS yang berserat dan kasar akan sangat bermanfaat bila dipakai untuk memperbaiki struktur tanah yang sudah mengeras, atau sangat baik bila digunakan sebagai media tanam untuk tanaman yang membutuhkan media yang *porous* (Syahwan & Firman, 2010).

Karakteristik proses pengomposan TKKS yang utama adalah lebih lamanya waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh produk kompos yang matang dibandingkan dengan apabila menggunakan bahan organik yang lain. Proses pengomposan TKKS sampai menghasilkan kompos yang matang dibutuhkan waktu sekitar 13

minggu, sedangkan untuk bahan organik yang lain hanya membutuhkan waktu 6 – 7 minggu (Syahwan & Firman, 2010). Pengecilan ukuran pada TKKS dengan cara dicacah selain dimanfaatkan untuk mempercepat proses pengomposan, dapat juga dimanfaatkan untuk mempermudah pembuatan *biochar*, serta dijadikan sebagai bahan baku pembuatan pelet dan *briket*.

2.4. Kecepatan Putaran RPM (*Rotation Per Minute*)

Putaran mesin adalah kecepatan putaran dari poros engkol yang dihasilkan oleh proses pembakaran bahan bakar yang menciptakan energi mekanik. Satuan dari putaran mesin adalah *Rotation Per Minute* (RPM). Kecepatan putaran mesin mempengaruhi daya spesifik yang akan dihasilkan. Putaran mesin yang tinggi dapat mempertinggi frekuensi putarnya, berarti lebih banyak langkah yang terjadi yang dilakukan oleh torak (Hakim *et al.*, 2015).

Semakin besar nilai kecepatan putaran mesin yang dipakai maka massa pati yang berhasil diekstrak juga semakin besar. Kecepatan putar RPM berpengaruh terhadap ukuran partikel dan kehalusan. Semakin besar RPM maka mesin berputar semakin cepat atau semakin kecil RPM maka mesin berputar semakin lambat (Kharisma, 2014).

2.5. Kadar Air Bahan

Kadar air merupakan banyaknya air yang terkandung dalam bahan yang dinyatakan dalam persen. Kadar air dihitung berdasarkan perbandingan berat akhir (berat hasil pengovenan) dengan berat awal (berat sebelum pengovenan) dikalikan 100% (Muchsin *et al.*, 2017). Kadar air bahan dapat mempengaruhi kinerja mesin alat pencacah TKKS seperti dalam penelitian (Ratna, 2013), kadar air berpengaruh sangat nyata terhadap kapasitas kerja, rendemen, temperatur dan kadar air tepung. Tingkat kadar air yang semakin tinggi akan semakin membebani poros putar mesin sehingga mesin bekerja dengan berat, mengakibatkan mesin tidak bekerja secara optimal. Kadar air yang semakin

rendah dapat mempercepat proses pencacahan dikarenakan perputaran mesin pencacah tidak banyak terbebani sehingga mesin dapat mencacah dengan optimal.

2.6. Jenis-jenis Mesin Pencacah

Mesin pencacah adalah mesin yang berfungsi untuk mempercepat proses pencacahan bahan baku yang akan dijadikan pupuk kompos. Mesin pencacah ini diharapkan dapat mengefisiensi waktu dalam proses pencacahan pelepah kelapa sawit. Dengan memodernisasi peralatan produksi secara tidak langsung dapat meningkatkan efektifitas kerja. Selain berfungsi untuk pencacah pelepah kelapa sawit, mesin pencacah dapat juga digunakan untuk mencacah berbagai macam bahan baku olahan hijau lainnya (Hidayat *et al.*, 2016). Terdapat banyak jenis mesin pencacah sesuai dengan fungsi dan kegunaannya yaitu sebagai berikut :

2.6.1. Mesin Pencacah Rumput

Mesin pencacah rumput adalah suatu alat berfungsi untuk mencacah atau merajang rumput yang akan dijadikan makanan ternak. Mesin ini bermanfaat untuk membantu kinerja peternak dalam menghasilkan pakan ternak yang akan membantu dalam proses pencernaan ternak dan persentase penyerapan nutrisinya lebih maksimal. Tanaman pakan yang akan dicacah terlebih dahulu dimasukkan melalui lubang pengumpan atau pemasukan kemudian dicacah dalam ruang pencacah. Sehingga bahan yang dicacah akan keluar berupa potongan-potongan hasil cacahan (Sari *et al.*, 2018).

Secara umum mesin pencacah rumput gajah terdiri dari motor yang berfungsi sebagai penggerak, sistem transmisi, casing, poros rangka dan pisau perajang. Pencacah ini digerakkan oleh motor penggerak. Sistem kerja motor penggerak dimulai dengan pulley bergerak, kemudian ditransmisikan ke sistem menggunakan sabuk transmisi untuk memutar poros. Pada poros terdapat enam pisau pencacah. Rumput gajah dimasukkan dalam *hopper* dengan pisau pencacah yang berputar sehingga dapat memotong rumput gajah. Mekanisme pemotongan

pencacah rumput gajah (*chopper*) model PC-700 menggunakan pisau tebas, cara ini efektif untuk pemotongan dengan kecepatan tinggi yang mampu mengurangi waktu kerja sehingga lebih efisien (Sari *et al.*, 2018)



Gambar 6. Mesin pencacah rumput

2.6.2. Mesin Pencacah Plastik

Mesin pencacah plastik yang dirancang dengan kapasitas 50 kg/jam untuk dapat memproses plastik khusus jenis PET menjadi bentuk cacahan yang bisa memudahkan pengiriman. Proses pencacah plastik untuk menjadi serpihan melalui beberapa tahap dimana pada tahap pertama plastik dimasukkan ke dalam mesin melalui sebuah corong yang terdapat pada mesin kemudian plastik tersebut akan dicacah/dihancurkan oleh pisau menjadi serpihan yang kecil kemudian baru akan disaring, serpihan yang masih terlalu besar akan dipotong lagi menjadi serpihan yang lebih kecil untuk dapat melewati saringan. Serpihan yang telah melewati saringan itulah yang merupakan hasil yang diinginkan (Silitonga *et al.*, 2020).



Gambar 7. Mesin Pencacah Plastik

2.6.3. Mesin Pencacah Pelepah Kelapa Sawit

Mesin pencacah (*Chopper*) Tipe TEP-1 yang digunakan untuk mencacah pelepah kelapa sawit sebagai bahan baku pakan ternak. Mesin pencacah (*Chopper*) Tipe TEP-1 dilengkapi mekanisme pencacah yang efisien dengan menggunakan dua pisau, yaitu pisau pencacah dan pisau penghalus. Sistem kerja mesin pencacah (*Chopper*) Tipe TEP-1 adalah pisau pencacah memotong bahan dengan berputar vertikal ke arah gerak bahan lalu masuk pada pisau penghalus yang bertujuan memperkecil hasil cacahan (Muchsin et al., 2017).



Gambar 8. Mesin pencacah pelepah kelapa sawit

2.6.4. Mesin Pencacah Sampah

Bahan baku pupuk kompos yang berasal dari sampah organik atau bahan-bahan organik lain harus dicacah menjadi potongan-potongan kecil sebelum diolah untuk mempercepat dan mempermudah proses pencacahan dibutuhkan mesin. Mesin ini dibuat *portable* dan dapat dipindah-pindahkan dengan mudah karena kerangka mesin dilengkapi dua buah roda dan tangkai pendorong. Dengan penggerak utama berupa mesin berbahan bakar bensin berkapasitas 5 hp, memungkinkan mesin pencacah sampah organik ini dapat dioperasikan di dalam atau di luar ruangan. Mekanisme pencacah menggunakan pisau putar (*rotary blade*) satu poros, yang terdiri dari 12 pisau. Pisau diikat dengan baut, sehingga dapat dilepas untuk diasah jika tumpul, dan kemudian dipasang kembali dengan mudah (Hendaryanto, 2018).



Gambar 9. Mesin Pencacah Sampah Organik

2.6.5. Mesin Pencacah Jerami

Mesin penggiling jerami digunakan untuk menggiling jerami baik kering maupun yang masih basah, hasil cacahan biasanya digunakan untuk pakan ternak, dan dapat dijadikan kompos. Pada proses pembuatan kompos jerami, pengomposan jerami dapat memberikan waktu yang sangat efektif dalam proses fermentasi karena telah memiliki ukuran yang kecil-kecil. Solar merupakan bahan bakar yang digunakan

mesin penggiling jerami ini, selain solar mesin juga dapat menggunakan bahan bakar bensin.



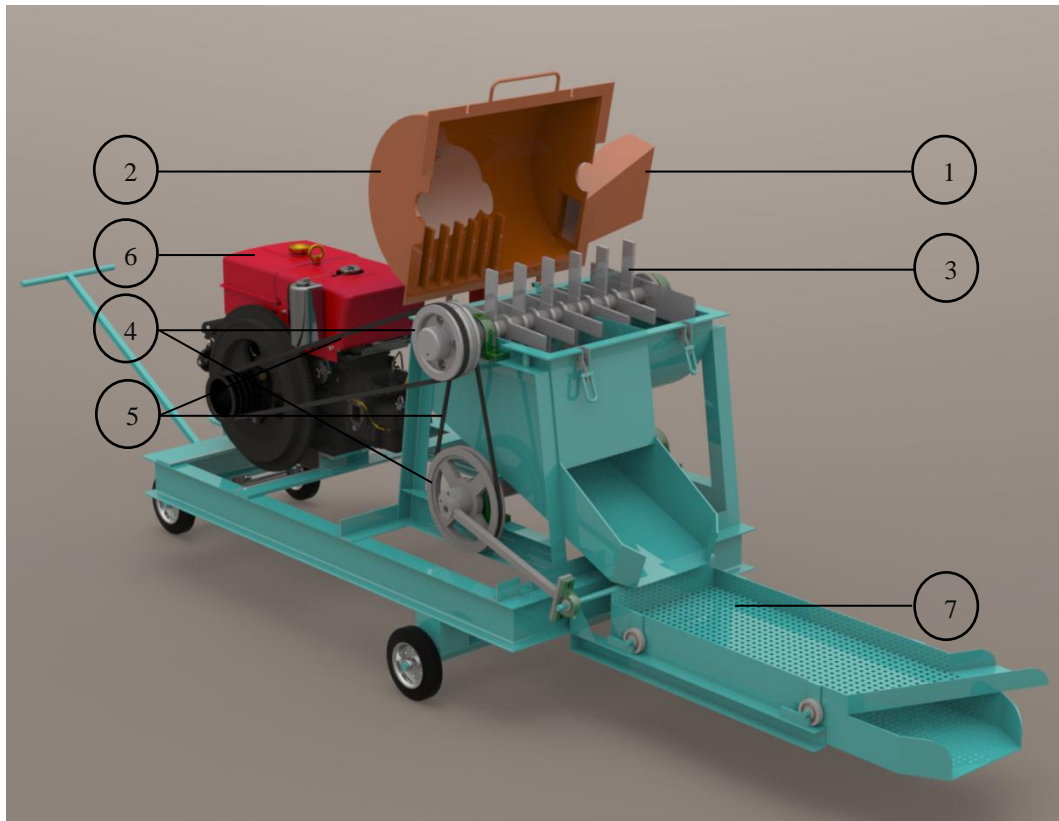
Gambar 10. Mesin Pencacah Jerami

2.7. Mesin Pencacah TKKS

Mesin pencacah yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin pencacah TKKS yang dirancang dan dibuat oleh Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung. Mesin pencacah ini memiliki beberapa bagian, yaitu *hopper*, tabung pencacah, pisau, *pulley*, tangki bahan bakar, motor penggerak, dan *exhaust*. Spesifikasi lengkap mesin pencacah TKKS ditunjukkan pada Tabel 1. Gambar alat dan mesin pencacah TKKS dapat dilihat pada Gambar 11.

Tabel 1. Spesifikasi mesin pencacah TKKS

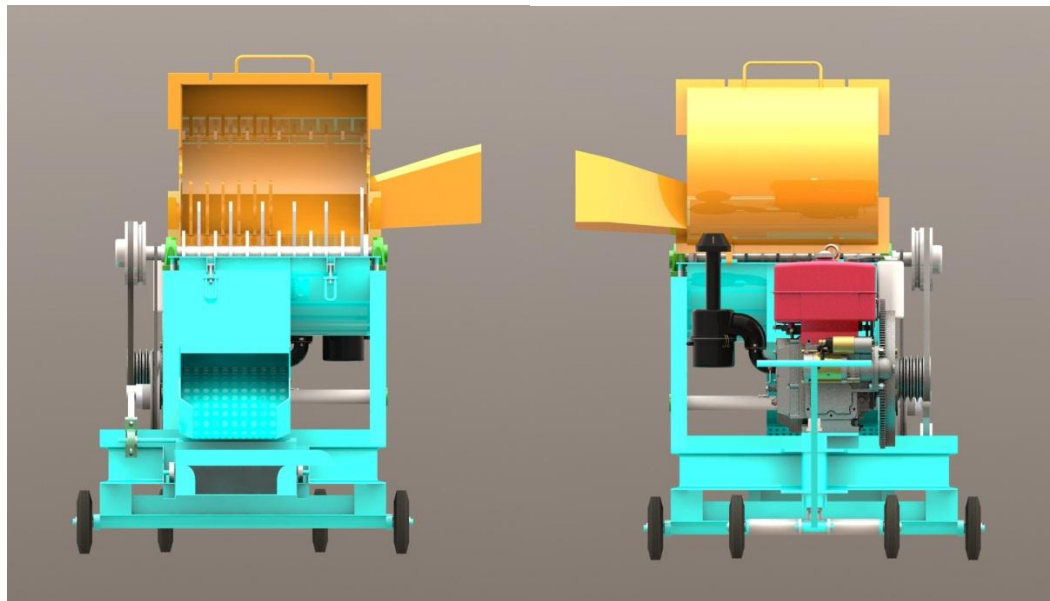
Komponen	Bagian-bagian	Keterangan	
Penggerak	Motor Diesel	Merk	Jiang Fa
		Daya	22 HP
		Jumlah Silinder	1
	Dimensi Pencacah	Diameter	50 cm
		Panjang	60 cm
		Tinggi	50 cm
	Material	Rangka	Besi Siku
		Body	Besi Plat
	Hopper	Lebar	26 cm
		Panjang	47 cm
Alat Pencacah	Pisau Pemetong	Bahan	Besi Baja
		Lebar	9 cm
		Panjang	20.5 cm
		Jumlah	2
		Tebal	3 cm
		Bahan	Besi Plat
	Pisau Pencacah	Lebar	3 cm
		Panjang	16.5 cm
		Diameter	20 cm
		Jumlah	22
	Saluran Output	Tebal	3 cm
		Bahan	Plat Besi
		Lebar	30 cm
		Panjang	40 cm
Transmisi	Pulley	Pada Poros Pisau	20 cm
		Pada Motor	15 cm
		Pada Pengayak	30 cm
	V-belt	Pada Motor	B-97
		Pada Pengayak	B-60



Gambar 11. Mesin Pencacah TKKS

Keterangan :

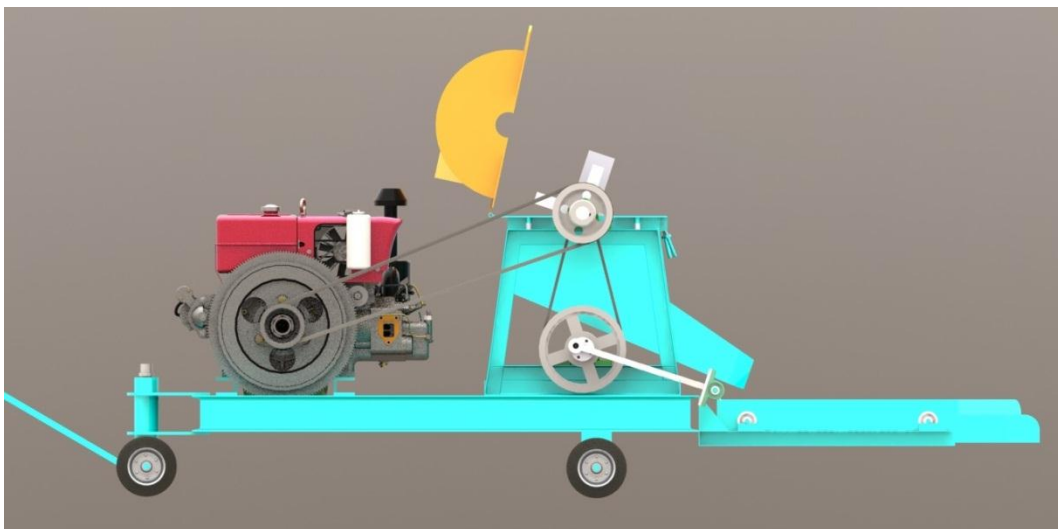
- | | |
|--------------------|-----------------------|
| 1. <i>Hopper</i> | 5. <i>V-belt</i> |
| 2. Tabung Pencacah | 6. Tangki Bahan Bakar |
| 3. Pisau Pencacah | 7. Pengayak |
| 4. <i>Pulley</i> | |



(a)

(b)

Gambar 12. Mesin Pencacah TKKS (a) tampak depan dan (b) tampak belakang



Gambar 13. Mesin pencacah TKKS tampak samping

2.7.1. Hopper

Hopper merupakan bagian dari mesin yang berfungsi sebagai tempat memasukkan bahan TKKS. *Hopper* memiliki bentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 47 cm dan lebar 26 cm dan dipasang dengan posisi miring agar bahan lebih mudah untuk dimasukkan.



Gambar 14. *Hopper*

2.7.2. Tabung Pencacah

Tabung pencacah berfungsi sebagai tempat memotong dan mencacah TKKS. Didalam tabung pencacah telah diletakkan pisau pemotong dan lempeng besi. Ruang tabung pencacah terbuat dari besi plat berbentuk silinder dengan panjang 60 cm dan diameter 50 cm. Pada bagian bawah terdapat lubang dengan ukuran *mesh 3* yang terhubung dengan lubang keluaran hasil cacahan.



Gambar 15. Tabung pencacah

2.7.3. Pisau

Mesin pencacah ini memiliki dua jenis pisau, yaitu pisau pemotong dan pisau pencacah. Pisau pemotong berfungsi memotong bahan utuh menjadi

lebih kecil agar mudah untuk proses pencacahan. Pisau ini terletak di bagian depan tabung pencacah atau setelah *hopper*. Pisau pencacah ini memiliki 22 mata pisau dengan panjang masing-masing 12 cm. Pisau ini memiliki posisi vertikal dan tersambung pada poros pemutar pisau.



Gambar 16. Pisau pencacah

2.7.4. Pulley dan V-belt

Pada mesin pencacah TKKS memiliki tiga bagian *pulley* yang dihubungkan dengan *v-belt*. *Pulley* berfungsi sebagai penyalur daya dari mesin ke poros pisau sehingga poros pisau dapat berputar dan juga sebagai penyalur daya dari poros pisau ke pengayak. *Pulley* pada bagian mesin memiliki ukuran diameter 15 cm yang dihubungkan dengan *v-belt* ukuran B97 ke *pulley* pada bagian poros pisau yang memiliki ukuran diameter 20 cm. *Pulley* pada bagian poros pisau dihubungkan dengan *v-belt* ukuran B60 ke *pulley* pada bagian pengayak yang memiliki ukuran diameter 29 cm.



Gambar 17. *Pulley dan v-belt*

2.7.5. Tangki Bahan Bakar

Tangki berfungsi menampung bahan bakar (solar) untuk kebutuhan operasional mesin penggerak. Tangki bahan bakar terletak di atas mesin penggerak yang terbuat dari plat baja yang bagian dalamnya dilapisi anti karat dan memiliki kapasitas 13 liter. Seperti mesin diesel pada umumnya, mesin ini juga dilengkapi tangki air yang berfungsi sebagai pendingin mesin yang memiliki kapasitas 13 liter.



Gambar 18. Tangki bahan bakar

2.7.6. Motor Bakar

Motor bakar adalah salah satu bagian dari mesin kalor yang berfungsi untuk mengkonversi energi termal hasil pembakaran bahan bakar menjadi energi

mekanis. Pada mesin pencacah TKKS motor bakar berfungsi sebagai alat bantu penggerak pada poros putar mesin. Motor bakar ini memiliki daya maksimal 22 HP, kecepatan putar maksimal sebesar 2200 RPM (tanpa *implemen*) dan berat bersih 180 kg. Motor penggerak inilah yang menjadi tenaga utama pada penelitian ini.

2.7.7. *Exhaust*

Exhaust atau saluran pembuangan berfungsi sebagai saluran pembuangan gas sisa pembakaran dari motor penggerak.



Gambar 19. *Exhaust*

2.8. Pencacahan

Pengecilan ukuran dilakukan dengan pencacahan. Hasil cacahan TKKS dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembuatan kompos dan juga sebagai bahan pembuatan *briket*. Semua cara yang digunakan untuk memotong partikel zat padat dan dipecahkan menjadi kepingan-kepingan yang lebih kecil dinamakan *size reduction* atau pengecilan ukuran. Dalam industri pengolahan, zat padat diperkecil dengan berbagai cara yang sesuai dengan tujuannya. Menurut Waruwu (2016), secara umum tujuan dari pencacahan adalah :

1. Menghasilkan padatan dengan ukuran maupun spesifik permukaan tertentu.
2. Memecahkan bagian dari mineral atau kristal dari persenyawaan kimia yang terpaut pada padatan.

2.8.1. Faktor Yang Mempengaruhi Pencacahan

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kinerja pencacahan mulai dari rancangan mesin pemotong dan motor yang digunakan hingga pisau pencacah. Selain itu yang harus diperhatikan juga seberapa besar gaya potong yang dibutuhkan, sehingga pemilihan motor penggeraknya memiliki torsi yang cukup. Pemilihan motor penggerak menggunakan motor bakar (baik diesel maupun *gasoline*) atau motor listrik juga perlu diperhatikan dalam desain mesin pencacah, hal ini penting untuk meningkatkan produktivitas proses pencacah (Priono *et al.*, 2019)

Jumlah pisau dan kemiringan pisau pencacah pada mesin pencacah rumput untuk kompos mempengaruhi proses pencacahan. Pada kemiringan pisau pencacah yang sama dan penambahan jumlah pisau pencacah, laju pencacahan semakin cepat dan hasil cacahan semakin meningkat. Jumlah dan kemiringan pisau juga mempengaruhi hasil cacahan seperti distribusi hasil, ukuran dan panjang bahan. Dalam proses pencacahan, terutama untuk mencacah limbah organik, semakin banyak pisau (*blade*), maka produk yang dihasilkan semakin bagus untuk proses kompos (Hamarung & Jasman, 2019)

2.9. Pisau Pencacah

Pisau merupakan salah satu alat yang digunakan untuk memotong sejumlah benda-benda dalam kehidupan sehari-hari. Bilah pisau terbuat dari logam dan bagian pinggirnya berbentuk pipih dan tajam (*cutting edge*). Dalam penelitian Balkhaya (2016), ketajaman suatu bilah (termasuk pedang) tidak memiliki satuan akan tetapi dapat dinyatakan dalam *index*. *Index* yang digunakan dalam penelitian yaitu keausan pisau. Laju keausan pisau saat digunakan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu material yang digunakan untuk pembuatan pisau, cara atau proses pembuatan pisau, serta perlakuan dan bahan yang akan dipotong dengan pisau. Dalam penelitian (Balkhaya, 2016), keausan didefinisikan sebagai berkurangnya berat spesimen pisau setelah terjadi gesekan sisi tajam dengan

benda keras selama 25 menit. Laju keausan pisau juga dipengaruhi oleh jenis bahan dan proses perlakuan.

Index keausan dapat diukur dengan cara menimbang berat spesimen sebelum dan sesudah pengujian. Selisih berat sebelum dan sesudah pengujian merupakan berat material aus. Dari berat bahan yang aus kemudian dicari volume keausan yang terjadi dengan massa jenis bahan pisau. Volume keausan ini selanjutnya dicatat untuk digunakan sebagai data terukur pada perhitungan laju keausan spesifik. Pisau yang digunakan di mesin pencacah TKKS menggunakan pisau hasil proses pengerasan. Dalam penelitian (Balkhaya, 2016), menyatakan bahwa pisau hasil proses tempa memiliki nilai laju keausan lebih tinggi dibandingkan dengan pisau hasil proses pengerasan.

2.10. Unjuk Kerja

Menurut (Robbins, 2006), unjuk kerja adalah hasil atau keluaran yang dihasilkan oleh suatu produk sesuai dengan fungsinya. Unjuk kerja yang baik adalah salah satu perlakuan yang sangat penting dalam upaya peningkatan kualitas suatu produk. Unjuk kerja merupakan indikator dalam menentukan bagaimana usaha untuk mencapai tingkat produktivitas yang tinggi didalam pengoperasiannya. Untuk mengetahui unjuk kerja mesin dilakukan pengujian terhadap mesin.

Unjuk kerja mempunyai arti cara bekerja suatu produk. Unjuk kerja mempunyai suatu tujuan yaitu untuk mendapatkan sebuah data atau informasi, kemudian mengolah informasi, menilai kualitas informasi, menggunakan informasi untuk sebuah tujuan, dan menggunakan informasi untuk presentasi sebuah produk. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi unjuk kerja diantaranya yaitu model atau rancang bangun mesin, kecepatan putar mesin (RPM), daya motor bakar, bahan bakar mesin, kadar air bahan, *input* bahan, serta bahan yang akan digunakan (Hamarung & Jasman, 2019).

III. METODE PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan September - November 2020 di Laboratorium Daya Alat Mesin Pertanian (Lab. DAMP) dan Laboratorium Rekayasa Sumber Daya Air dan Lahan (Lab. RSDAL), Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

- a. *Tachometer*, digunakan sebagai alat ukur kecepatan putar atau *Rotation Per Minute* (RPM).
- b. Gelas ukur, digunakan untuk mengukur bahan bakar yang akan digunakan.
- c. Corong, digunakan sebagai alat untuk memasukkan bahan bakar agar tidak tercecer.
- d. *Stopwatch*, digunakan untuk menghitung lama waktu yang akan dilakukan.
- e. Oven, digunakan untuk mengeringkan TKKS yang bertujuan untuk mengukur kadar air.
- f. Ayakan, sebanyak 5 mesh digunakan untuk mengayak hasil TKKS.
- g. *Sprayer*, digunakan untuk membasahi TKKS.
- h. Timbangan digital, digunakan untuk menimbang berat TKKS yang akan dicacah dan juga yang telah tercacah.
- i. Alat tulis, digunakan untuk mencatat hasil pengukuran yang diperoleh.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu :

- a. TKKS yang telah dikeringkan dan ukurannya telah diperkecil (disuwir).
- b. Air sebanyak 2 liter per 10 kg TKKS yang digunakan untuk 3 kali pengujian sebagai perbandingan dengan 3 kali pengujian tanpa pemberian air.
- c. Solar sebagai bahan bakar mesin.

3.3. Rancangan Percobaan

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan menggunakan dua faktor yang terdiri dari faktor pertama yaitu kecepatan putar mesin (RPM) (R) dan faktor kedua yaitu air (A). Masing-masing kombinasi antara dua faktor dilakukan tiga ulangan (U). Kombinasi perlakuan RAL faktorial dapat dilihat pada Tabel 2.

Faktor 1 : perlakuan kecepatan putar mesin (RPM) dengan tiga taraf yaitu :

- R1 : 900 RPM
 R2 : 1100 RPM
 R3 : 1300 RPM

Faktor 2 : perlakuan air dengan dua taraf yaitu :

- A1 : tanpa penambahan air
 A2 : penambahan air

Tabel 2. Kombinasi perlakuan RAL faktorial

R	A	
	1	2
1	R1A1	R1A2
2	R2A1	R2A2
3	R3A1	R3A2

3.4. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua bahan yaitu TKKS tanpa pemberian air dan TKKS dengan penambahan air serta menggunakan 3 variasi kecepatan putar (RPM) yaitu 900 RPM, 1100 RPM, 1300 RPM. Parameter uji kinerja mesin pencacah meliputi kapasitas kerja pencacahan, susut bobot, distribusi hasil, kadar air, dan bahan bakar mesin. Tabulasi data dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 3. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap :

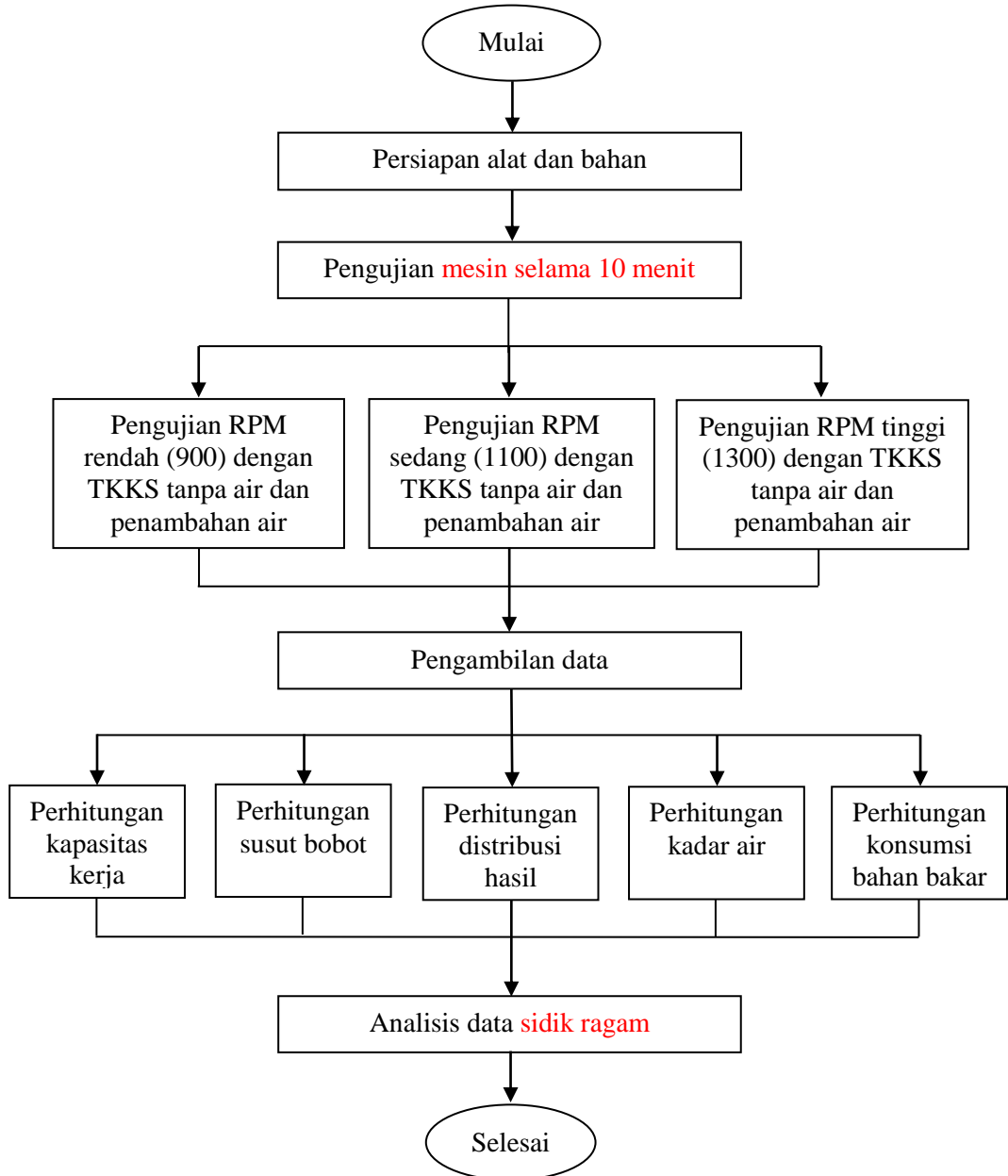
1. Pengumpulan dan penimbangan bahan TKKS.
2. Persiapan mesin pencacah TKKS.
3. Mencacah TKKS dengan dua faktor yaitu faktor RPM serta faktor air .
4. Pengukuran bahan bakar dan kadar air TKKS.

Tabel 3. Tabulasi data penelitian

Perlakuan	RPM	Ulangan	Waktu kerja	Kapasitas kerja	Susut bobot	Distribusi Hasil	Kadar Air	Bahan Bakar
Tanpa Penambahan air	900	1						
		2						
		3						
	1100	1						
		2						
		3						
	1300	1						
		2						
		3						
Penambahan air	900	1						
		2						
		3						
	1100	1						
		2						
		3						
	1300	1						
		2						
		3						

3.5. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan sebagai berikut dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 20. Diagram alir penelitian

3.6. Persiapan Pencacahan

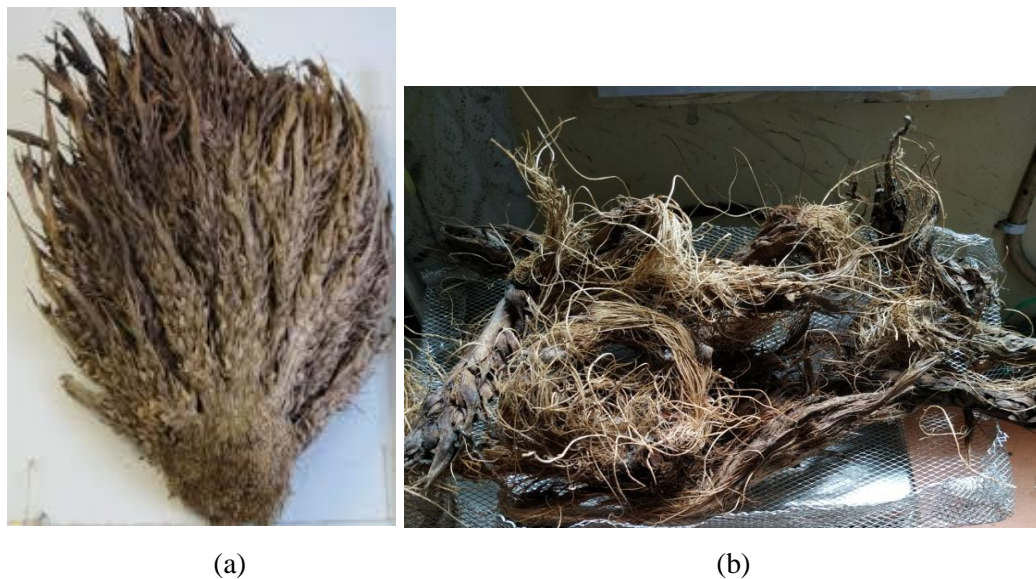
3.6.1. Waktu Kerja

Waktu yang digunakan dalam penelitian telah ditetapkan yaitu selama 10 menit dalam 1 kali pengulangan. Waktu kerja pencacahan ditetapkan untuk menentukan *Rotation Per Minute* (RPM) yang terbaik terhadap beberapa parameter seperti kapasitas kerja, susut bobot, distribusi hasil, dan konsumsi bahan bakar. Semakin banyak bahan yang tercacah dalam waktu yang telah ditetapkan, maka semakin baik unjuk kerja mesin pencacah tersebut. Lama waktu pencacahan dihitung dari awal pengumpanan bahan hingga waktu yang ditetapkan berakhir. Waktu pencacahan diukur menggunakan *stopwatch*. Proses pengukuran RPM dapat dilihat pada Gambar 19.

3.6.2. Bahan Yang Digunakan

TKKS merupakan limbah terbanyak yang dihasilkan dari pengolahan TBS kelapa sawit. TKKS menjadi bahan utama yang digunakan dalam penelitian, bahan TKKS digunakan untuk 3 kali pengulangan di masing-masing perlakuan. Bahan yang digunakan merupakan TKKS yang memiliki umur +/- 8 bulan setelah dari pengolahan TBS kelapa sawit yang ukurannya telah diperkecil (disuwir). Tujuan dari diperkecil ukurannya (disuwir) supaya mudah untuk menurunkan kadar air dalam TKKS. Dalam penelitian ini menggunakan dua perlakuan kadar air yaitu perlakuan tanpa penambahan air dan perlakuan penambahan air. Perlakuan penambahan air salah satunya bertujuan untuk mengurangi debu selama proses pencacahan, karena selama proses pencacahan dapat menyebabkan banyaknya debu yang berterbangan.

TKKS pada umumnya memiliki kadar air yang tinggi yaitu 60%-65% yang dapat mempersulit proses pencacahan (Susilawati, 2012). Sehingga TKKS perlu dikeringkan terlebih dahulu. TKKS yang telah dikeringkan memiliki kadar air yang cukup rendah yaitu 8%-12%. Gambar TKKS yang telah diperkecil ukurannya dapat dilihat pada Gambar 16. TKKS yang digunakan di pasok dari PTPN VII Unit Bekri Lampung Tengah.



Gambar 21. (a) TKKS utuh dan (b) TKKS yang diperkecil (disuwir)

3.6.3. Kecepatan Putar Mesin (RPM) dan Pengayak

Pengujian mesin pencacah TKKS dilakukan dengan tiga kecepatan putar mesin (RPM). Pengukuran kecepatan putar mesin (RPM) dilakukan saat mesin melakukan pencacahan atau mesin telah terbebani dengan tiga perlakuan kecepatan putar yaitu 900 RPM, 1100 RPM, dan 1300 RPM. Mesin pencacah TKKS dilengkapi dengan alat pengayak yang dapat memisahkan TKKS halus dan TKKS kasar. Letak pengayak terdapat di bagian depan mesin dapat dilihat pada Gambar 11, pengayak digerakkan oleh *pulley* pengayak yang dihubungkan oleh *v-belt* ke bagian *pulley* poros putar mesin sehingga dapat melakukan pengayakan secara mekanisasi.

Tabel 4. Kecepatan putar (RPM) pada poros pisau dan pada pengayak

Perlakuan Kecepatan Putar	RPM Pada Poros Pisau	RPM Pada Pengayak
900	850-950	130-170
1100	1050-1150	190-240
1300	1250-1350	250-300

3.7. Parameter Pengamatan

Parameter yang diamati pada penelitian ini adalah waktu kerja, kapasitas kerja, susut bobot, distribusi hasil, kadar air, dan konsumsi bahan bakar.

3.7.1. Kapasitas Kerja

Kapasitas kerja alat dihitung dari perbandingan berat hasil cacahan tandan kosong kelapa sawit yang keluar dari mesin pencacah tiap satu jam (Sari *et al.*, 2018). Perhitungan kapasitas kerja menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$ka = \frac{BO}{t} \times 3600 \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

ka = kapasitas kerja

BO = Bahan *Output* (massa tandan kosong kelapa sawit yang telah dicacah)

t = waktu (detik).

3.7.2. Susut bobot

Susut bobot merupakan berat yang hilang selama proses pencacahan berlangsung.

Susut bobot dihitung berdasarkan perbandingan berat akhir (berat hasil cacahan TKKS yang dihasilkan) dengan berat awal (berat TKKS yang digunakan) dikalikan 100% (Prastya *et al.*, 2015). Susut bobot dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Susut bobot} = \frac{BI-BO}{BI} \times 100\% \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

BI = Bahan *input*

BO = Bahan *output*

3.7.3. Distribusi Kehalusan

Cacahan yang dihasilkan kemudian ditimbang secara keseluruhan, kemudian dilakukan proses pengelompokan hasil cacahan berdasarkan ukurannya.

Distribusi kehalusan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Ph = \frac{\text{Berat Cacahan}}{B_{total}} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

$$P_k = \frac{\text{Berat Cacahan}}{B_{\text{total}}} \times 100\% \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan :

Ph = Persentase hasil cacahan halus

Pk = Persentase hasil cacahan kasar

Btotal = Berat total hasil cacahan (Apriliandi, 2020).

3.7.4. Kadar Air

TKKS yang belum dicacah dan TKKS yang telah dicacah akan diukur kadar airnya. Pengukuran kadar air dilakukan dengan cara menimbang beberapa sampel kemudian di oven selama 24 jam pada suhu 105°C. Kadar air merupakan banyaknya air yang terkandung dalam bahan yang dinyatakan dalam persen.

Persen kadar air dapat dihitung

menggunakan rumus pada persamaan sebagai berikut :

$$ka \% = \frac{bb-bk}{bb} \times 100\% \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan :

bb = berat basah

bk = berat kering (Muchsin *et al.*, 2017).

3.7.5. Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar pada penelitian ini diukur dengan menggunakan tabung ukur. Konsumsi bahan bakar dihitung dengan cara membagi volume bahan bakar yang terpakai dengan berat bahan yang tercacah. Pengukuran awal dihitung setelah motor dipanaskan dengan tujuan agar mesin panas sehingga bahan bakar yang terpakai akan stabil. Pengukuran akhir dihitung setelah hasil cacahan keluar dan mesin pencacah dimatikan. Perhitungan konsumsi bahan bakar pada penelitian ini dilakukan sebanyak tiga kali ulangan dengan menggunakan rumus pada persamaan sebagai berikut :

$$F_c = \frac{F_v}{m} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan :

Fc = konsumsi bahan bakar (liter/ton)

Fv = volume bahan bakar terpakai (liter)

m = berat bahan hasil cacahan (ton) (Safitri, 2019).

3.7. Analisis Data

Analisis data dilakukan menggunakan program aplikasi *Ms. Office Excel* dan program aplikasi (SAS) yang disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Pada aplikasi (SAS) akan dilakukan analisis sidik ragam untuk mengukur interaksi dan perbedaan perlakuan dalam suatu percobaan. Metode sidik ragam menggunakan uji *analysis of variance* (ANOVA). Uji ANOVA digunakan untuk mengetahui ada tidaknya pengaruh antar tiap perlakuan terhadap parameter yang diukur. Apabila dari hasil uji menunjukkan adanya pengaruh nyata pada taraf kurang dari 5% maka akan dilakukan metode lanjut uji Beda Nyata Terkecil (BNT).

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan pengamatan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Kecepatan putar mesin (RPM) mempengaruhi kinerja mesin.
 - a. Mesin pencacah TKKS bekerja secara optimal pada perlakuan tanpa air dan dengan perlakuan kecepatan 1100 RPM berdasarkan kapasitas kerja sebanyak 30,58 kg/jam, kapasitas kerja mesin per liter yaitu sebanyak 23,78 kg/l/jam, susut bobot yang cukup sedikit yaitu sebanyak 13,34 %/jam, serta kinerja mesin yang baik karena mesin tidak pernah mengalami kendala seperti mesin mati selama proses pencacahan dan pengayak yang terhenti karena kecepatan putar mesin (RPM) yang lambat, serta poros pisau yang tertahan atau bahkan pisau pencacah patah karena kecepatan putar mesin (RPM) yang cepat.
 - b. Tingkat kecepatan putar mesin (RPM) mempengaruhi beberapa parameter seperti kapasitas kerja, susut bobot, distribusi hasil halus serta konsumsi bahan bakar. Semakin tinggi kecepatan putar mesin (RPM) maka jumlah hasil dari setiap parameter tersebut akan semakin banyak dan sebaliknya semakin rendah kecepatan putar mesin (RPM) maka jumlah hasil dari setiap parameter akan semakin sedikit yang diperoleh.
2. Perlakuan penambahan air mempengaruhi kinerja mesin pencacah TKKS
 - a. Penambahan air pada bahan TKKS mempengaruhi kinerja mesin pencacah TKKS pada dua tingkat kecepatan putar mesin (RPM) yaitu pada tingkat kecepatan putar mesin (RPM) yang rendah yaitu 900 RPM dapat menyebabkan TKKS yang diberi air memberikan beban yang cukup besar

sehingga mesin bekerja dengan berat serta dapat menyebabkan mesin berhenti, dan pada tingkat kecepatan putar mesin (RPM) yang tinggi yaitu 1300 RPM, bahan TKKS yang diberi air dapat menyebabkan terhambatnya putaran mata pisau yang dapat mengakibatkan mata pisau patah.

- b. Penambahan air pada TKKS akan menyebabkan TKKS semakin ulet dan mesin akan semakin lama untuk dapat mencacah TKKS. Semakin lama waktu yang dibutuhkan untuk mencacah TKKS dalam satu kali *input* bahan maka dapat meningkatkan persentase distribusi hasil halus serta dapat meningkatkan persentase susut bobot.
- c. Perlakuan yang paling banyak kehilangan susut bobot yaitu perlakuan dengan penambahan air pada kecepatan putar 1300 RPM yaitu sebanyak 21,98%, Semakin tinggi kecepatan putar maka semakin banyak susut bobot yang diperoleh bersamaan dengan meningkatnya hasil distribusi hasil cacah bahan halus. Jumlah hasil distribusi cacahan bahan halus terbanyak yaitu perlakuan dengan penambahan air pada kecepatan putar 1300 RPM yaitu sebanyak 67,58%.

5.2. Saran

Berdasarkan penelitian uji kinerja mesin pencacah TKKS yang telah dilakukan.

Penulis memberikan saran sebagai berikut :

1. Untuk TKKS yang digunakan sebaiknya telah dikeringkan dan diperkecil ukurannya serta hindari pengumpanan dan penambahan air pada TKKS secara berlebih karena dapat menghambat perputaran pisau pencacah yang menyebabkan patahnya pisau pencacah dan kerusakan pada *v-belt* akibat poros putar pisau yang berhenti dan mesin yang terus berputar.
2. Pada desain alat perlu dilakukan perbaikan atau penambahan baut pada bagian penghubung pisau dengan poros putar supaya pisau lebih kokoh dan tidak mudah lepas atau bahkan patah.
3. Perlu adanya analisis ekonomi untuk mengetahui kelayakan mesin pencacah TKKS jika ingin dipasarkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Apriliandi, R. 2020. *Uji Kinerja Mesin Pencacah Tipe Multiguna Untuk Pencacahan Tongkol Jagung*. Bandarlampung: Universitas Lampung.
- Balkhaya. 2016. *Pengaruh Jenis Bahan dan Proses Pengerasan Terhadap Kekerasan dan Ketahanan Aus Pisau Tempa Manual*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Direktorat Jendral Perkebunan. 2019. *Statistik Perkebunan Indonesia Komoditas Kelapa Sawit*. Direktorat Jendral Perkebunan.
- Hakim, L.A., Ranto & Bugis, H. 2015. *Pengaruh Variasi Jumlah Dan Variasi Putaran Mesin Terhadap Emisi Gas Buang CO Sepeda Motor Yamaha Jupiter Z Tahun 2009*. Jurnal NOSEL, Vol 3: 1–12.
- Hamarung, M.A. & Jasman, J. 2019. *Pengaruh Kemiringan dan Jumlah Pisau Pencacah terhadap Kinerja Mesin Pencacah Rumput untuk Kompos*. Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material, 3: 53–59.
- Hendaryanto, I.A. 2018. *Pembuatan Mesin Pencacah Sampah Organik Untuk Swadaya Pupuk di Desa Tancep Kecamatan Ngawen Kabupaten Gunungkidul*. Universitas Gadjah Mada: 11–17.
- Hidayat, M., Harjono, Marsudi & Gunanto, A. 2016. *Evaluasi Kinerja Teknis Mesin Pencacah Hijauan Pakan Ternak*. , Vol IV: 61–64.
- Kamal, N. 2012. *Karakterisasi Dan Potensi Pemanfaatan Limbah Sawit*. Bandung: Teknik Kimia, ITENAS.
- Kementerian Pertanian. 2017. *Outlook Sawit*. Jakarta: Kementerian Pertanian.
- Kharisma, N. 2014. *Pengaruh Kecepatan Putar (RPM) Disc Mill Terhadap Keseragaman Ukuran Butiran Gula Semut*. Lampung: Universitas Lampung.
- Muchsin, A., S, R., Asmara, S. & Surhayatun, S. 2017. *Pengaruh Kecepatan Putar Mesin Terhadap Unjuk Kerja Mesin Pencacah Pelepah Kelapa Sawit (Chopper) Tipe Tep-1*. Jurnal Teknik Pertanian, Vol 6: 189–196.

- Nasrul. 2009 .*Pengaruh Penambahan Jamur Pelapuk Putih (White Rot Fungi) Pada Proses Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit*. Jurnal Rekayasa dan Lingkungan.
- Pasaribu, J.A., Daulay, S.B. & Munir, A.P. 2019. *Komoditi Pada Alat Pencacah Sampah Organik*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Prastya, O.A., Utama, I.M.S. & Yulianti, N.L. 2015. *Pengaruh Pelapisan Emulsi Minyak Wijen dan Minyak Sereh Terhadap Mutu dan Masa Simpan Buah Tomat (Lycopersicon Esculentum Mill)*. Jurnal BETA, 3: 1–10.
- Priono, H., Ilyas, M.Y., Nugroho, A.R., Setyawan, D., Maulidiyah, L. & Anugrah, R.A. 2019. *Desain Pencacah Serabut Kelapa dengan Penggerak Motor Listrik*. Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material, Vol 3: 23–28.
- Putra, N.A. 2019. *Unjuk Kerja Mesin Pencacah Serasah Biomassa Tipe Multiguna Berdasarkan Tingkatan Kecepatan Putaran*. Skripsi. Bandarlampung: Universitas Lampung.
- Ratna. 2013. *Pengaruh Kadar Air Biji Jagung dan Laju Pengumpanan Terhadap Mutu Tepung Jagung Menggunakan Alat Penggiling Tipe Disk Mill*. Jurnal Ilmiah Pendidikan Biologi, Vol 5: 8–13.
- Robbins, S. 2006. *Perilaku Organisasi, Edisi Indonesia*. PT. Indeks Kelompok Gramedia Indonesia.
- Safitri, Y. 2019. *Uji Kinerja Mesin Pemotong Bibit Singkong (Petokong) Double Block Cutter Menggunakan 3 Varietas Batang Singkong*. Skripsi. Bandarlampung: Universitas Lampung.
- Sari, N., Iqbal & Achmad, M. 2018. *Uji Kinerja dan Analisis Biaya Mesin Pencacah Pakan Ternak (Chopper)*. Jurnal Agritechno, Vol 11: 100.
- Silitonga, Y.F., Kardiman & Hanifi, R. 2020. *Rancang Bangun Mesin Pencacah Plastik Jenis PET Skala Industri Rumah Tangga (Home Industry)*. Jurnal of Infrastructure & Science Engineering, Vol 03: 7–12.
- Susilawati. 2012. *Pengelolaan Limbah Kelapa Sawit (Elaeis Guineensis Jacq) Di Teluk Siak Estate PT Aneka Inti Persada, Minamas Plantation, Riau*. Skripsi. Institut Pertanian Bogor.
- Syahwan & Firman, L. 2010. *Potensi Limbah dan Karakteristik Proses Pengomposan Tandan Kosong Kelapa Sawit yang Ditambahkan Sludge Limbah Pabrik Minyak Kelapa Sawit*. Jurnal Teknik Lingkungan. Jakarta, Vol 11: 323–330.
- Thoriq, A. 2013. *Pengembangan Sistem Deteksi Kematangan Tandan Buah Segar (TBS) Kelapa Sawit Berbasis Spektrum Cahaya Tampak*. Thesis. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

Waruwu, H., M., Harahap, L., A. & Munir, A., P. 2016. *Performa dan Biaya Operasional Mesin Pencacah Pelepah Kelapa Sawit Rancangan Upt Mekanisasi Pertanian Provinsi Sumatera Utara*. Jurnal Rekayasa Pangan dan Peternakan, Vol 4: 251–258.

Wijono, A. 2014. *PLTU Biomasa Tandan Kosong Kelapa Sawit Studi Kelayakan dan Dampak Lingkungan*. Balai Rekayasa Disain dan Sistem Teknologi.

